부분 소음원들의 포함과 삭제를 위한 STSF 기법에서의 Reference의 사용*

J. Hald
(Brüel & Kjaer)

1. 요 약

음장의 공간적 변환(Spatial Transformation of Sound Field; STSF) 기법의 주요 원리를 간단히 소개한 뒤, STSF에서 Reference 신호의 사용을 보다 상세히 취급하고자 한다.

Reference의 보통의 형태(표준 Reference)는 음장 모델에 포함될 전체음장의 일부분, 즉 이 Reference와 연관이 있어 포함될 부분을 결정한다. 결국 한개의 표준 Reference는 항상 적용되어져야 한다.

2번째 Reference의 형태(삭제용 Reference)는 모델로부터 원치않는 무관한 음장성분을 제거하는데 적용된다. 이 Reference와 밀접한 음장 부분이 모델로부터 제거될 것이고, 그렇지 않는 경우는 포함된다.

실제 예에서는 삭제용 Reference가 암소음의 억제와, 음원의 어떤 독립적인 성분의 억제를 위해 어떻게 적용되는가를 보인다.

소 개

음장의 공간적 변환(Spatial Transformation of sound Field; STSF) 기법은 소음이 음원으로 부터 어떻게 먼 음장으로 전파해 가는 가를 계산하는 기법이다.

한 평면에서 음향 측정을 한 다음, 그 평면에서 멀리 떨어지거나 더 가까운 모든 다른 평면에서 음장을 표현하는 변수들(음압, 음향 인텐시티, 입자 속도)을 계산한다. 측정 평면에서 음원쪽으로 가까운 평면의 계산은 근접음장 홀로그래피(Near-field Holography)를 적용하여 계산하고 먼 쪽으로는 헬름홀쯔 적분식(Helmholtz Integral Equation)을 적용한다.

헬름홀쯔 적분식은 음원을 둘러싸고 있는 근접된 평면에서 음압분포와 입자속도의 정보로부터 폐곡면 밖의 어떤 점에서도 음압이 계산될 수 있다는 이론식으로서 폐곡면은 어떠한 형태라도 관계없으나 STSF 시스템에서는 무한평면을 갖는 무한 반경의 반구형태를 취한다.

헬름홀쯔 적분식에 나타난 Green 함수를 적당히 선택함에따라 외부 음장은 무한 평면 상의 음압분포나 입자속도 분포중 어떤 하나를 측정하면 계산될 수 있다. 이것을 이용하여 STSF 시스템에서 시험 대상물에 근접한 평면상에 2차원적 주사(Scan) 측정 결과로부터 3차원 음장 도해를 얻는다.

각 주사 위치로부터 각 Reference까지의 Cross 스펙트럼과 각 Reference 사이의 Cross 스펙트럼 측정에 의해 음장의 주요 성분 표현식을 얻어 근접 음장 홀로그래피 이론과 헬름홀쯔 적분식 계산에 적용된다.

기본적으로, 이 음장 표현식은 음장에서 단지 Reference 신호와 관련이 있는 일부분만을 포함한다. 더 정확하게 말하면 Reference에 의해 관측된 음장의 독립된 부분들의 "분포"만이 포함된다.

그러므로 Reference가 어떤 측정 가능한 암소음을 측정하지 않는다면, 암소음은 STSF에 의해 처리된 음장의 일부분이 되지 않을 것이다.

그러나 Reference 신호 변환기에 의해 암소음이 측정되면 그것은 모델의 일부분이 되어 계산상에 오차를 유발한다. 이 문제를 극복하기 위해 STSF 시스템에서는 "삭제용 Reference" 사용을 채택하였다.

이 Reference는 모델에서 억제되어야 할 무관한 암소음만을 뽑아내기 위해 사용되어야 한다.

삭제용 Reference는 또한 관련이 없는 독립된 성분이나 복합 소음원의 도해 표현에서 그 일부를 제거하기 위해서 사용될 수도 있다.

*본 글은 브뤼엘 앤드 케아 코리아(Brüel & Kjaer Korea)에서 번역한 것임.

STSF의 원리

STSF 시스템의 원리를 그림 1과 2에 나타내었다. 음원이 다소 정상적(Stationary)이라고 가정하면, 연구 대상인 음원에 근접한 평면상에서 주사(Scan)하는 동안 측정되는 Cross 스펙트럼으로부터 상관성, 위상과 진폭정보를 얻을 수 있다.

이들 Cross 스펙트럼을 기초로 하여 음장의 주요 성분 표현식이 얻어진다. 음원의 표면으로부터 무한대까지 확장된 3차원 영역에 음장의 어떤 파워변수(예로 인텐시티, 리액티브 인텐시티, 음압, 입자속도)가 그려지게 된다. (그림 1)

음원에 근접한 음장에서는 음향 홀로그래피 이론을 사용하여 주사 데이타(Scan Data)로부터 근접음장을 표현할 수 있고, 반면 원거리 음장에서는 헬름홀쯔 적분식을 사용하여 표현할 수 있다.

STSF는 또한 2차원 측정에 기초를 둔 3차원 도해 기능외에 부분음원 감쇄에 대한 시뮬레이션을 가능하게 한다.

유사 시스템과 비교하여 STSF 기법의 주요 장점은 광대역 음원, 비연관성 음원에 사용될 수 있다는 것이다. [참고 문헌 1]

표준 "삽입"용 Reference의 사용

주사면상에 모든 점으로부터 다른 점들까지의 모든 Cross 스펙트럼을 이상적으로 측정한다면, 거대한 양의 데이타가 얻어질 것이다. 그러나, 이 방대한 Cross 스펙트럼 매트릭스에서 여분의 정보를 제거하기 위해 매트릭스의 중요한 성질을 이용함에 의해 측정후 저장되고 처리되는 데이타의 양을 상당히 줄일 수 있다.

일반적으로 큰 매트릭스는 강한 계수 종속성이 있으므로, 주사점들로부터 Reference 신호변환기 사이에서 얻어진 Cross 스펙트럼과 각 Reference 사이의 Cross 스펙트럼을 측정함에 의해 얻어진 전체 매트릭스는 선형적으로 독립된 상당히 작은 수의 행으로 구성될 수 있다. [1]

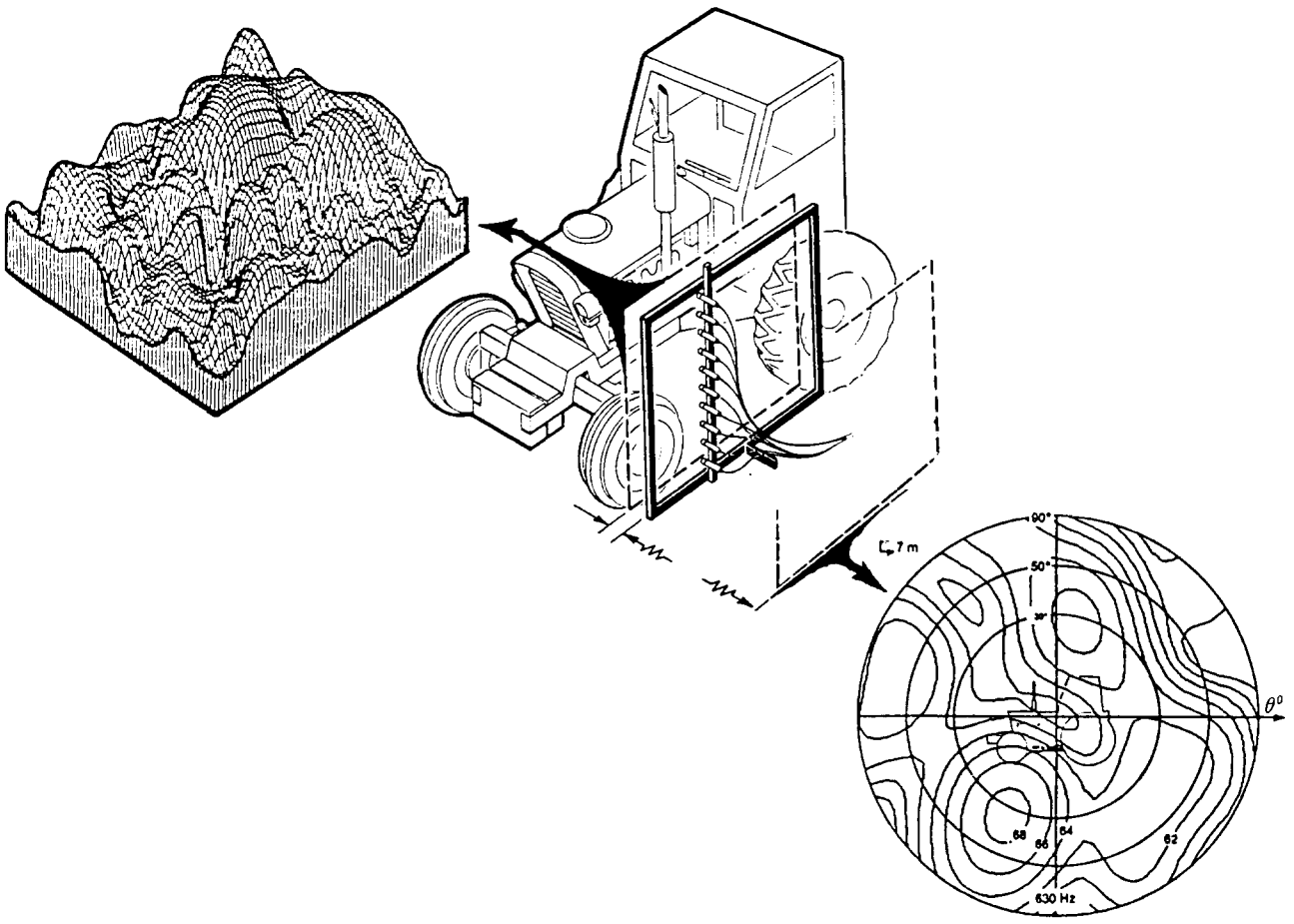


그림 1 2차원 주사 측정에 의한 3차원 음장 도해

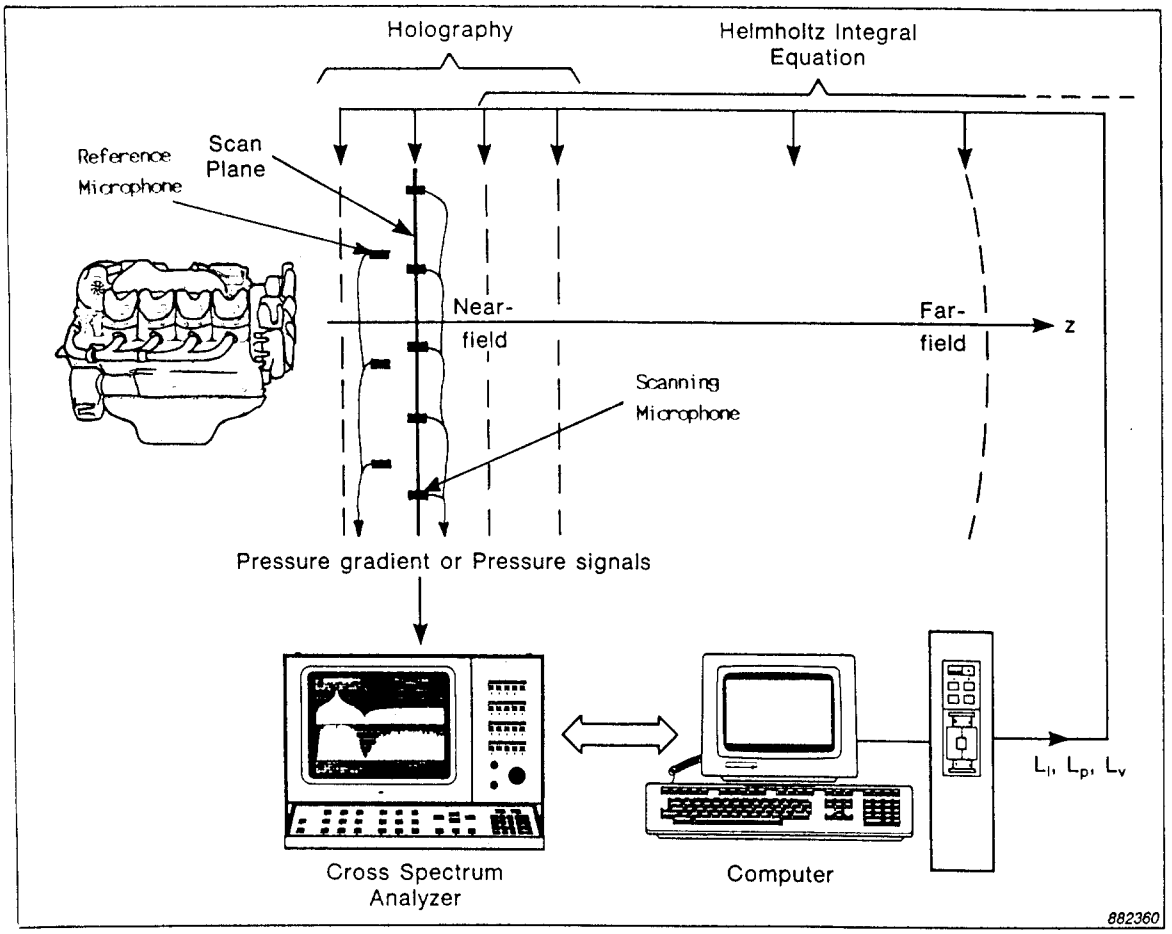


그림 2 멀티채널 분석 시스템에 의한 STSF의 원리

Reference 변환기는 보통 음원과 주사면사이에 위치시키며, 주사면에 대하여 고루 분배시켜야 한다. 일반적으로 Reference 변환기를 너무 적게 사용하면 관련이 없는 부분 음장의 어떤 중요한 결합(분포)을 알지 못하는 것처럼 음장을 잘못 표현하게 될 것이다. 이에 대한 것을 [문헌 1]을 인용하여 아래 예에서 설명하였다.

두 스피커 사이의 대칭면상에 위치시킨 1개의 Reference 마이크로폰을 사용하여 두 동일 스피커에서 STSF를 측정하였다. 이들 스피커는 Reference에서 같은 음압값을 발생하도록 조정된 두개의 동일하지만 독립된 잡음신호 발생 장치에 의해 작동된다.

따라서 전체 음장은 두개의 상호 무관한 부분음장으로 구성되며, 각각은 공간적으로 연관성을 갖고 있다.

그러나, 하나의 Referece 마이크로폰을 사용하면 두개의 별개 음장에서 하나의 "분포"만을 나타내게 되고 전체 음장을 완전하게 표현할 수 없게 된다.

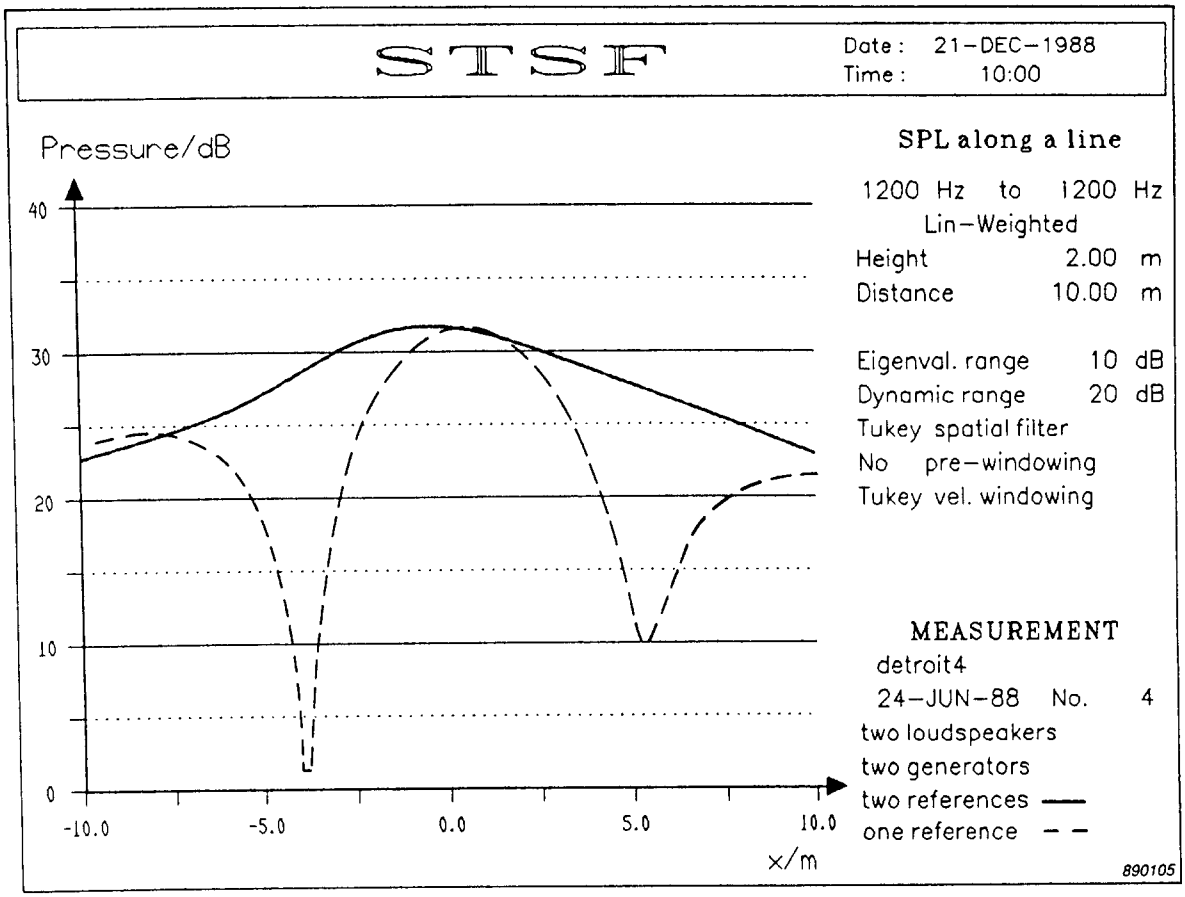
음장 표현은 Reference로부터 개개의 주사 위치까지의 Cross 스펙트럼으로부터 얻어지므로, 주사면의 어떤 위치에서는 무관한 두개의 별개 음장이 서로 상쇄된 Cross 스펙트럼을 나타내기도 한다.

따라서 음장 모델은 실제 전체 음장에서 발견할 수 없는 간섭 형태를 나타내기도 한다. 대칭면에 Reference가 있다면, 두개의 스피커가 단일 신호 발생기로부터 같은 위상으로 구동되어지는 것과 같은 간섭 형태를 보여주게 된다. (그림 3)

완전한 음장모델을 얻기 위해서 제2의 Reference를 추가시킬 필요가 있다. 또한, 제2 Reference는 첫번째 Reference와는 달리 두 독립된 음원의 "분포"를 볼 수 있어야 한다.

그림 3의 실선은 2개의 Reference로 측정하여 계산된 음압레벨을 나타내고 있다. 여기서는 스프리어스 간섭형태가 제거되었음을 알 수 있다.

Reference가 선택되기전 하나



점선 : 한개의 reference인 경우(오차를) 포함
실선 : 두개의 reference인 경우

그림 3 음압 레벨의 계산 결과

또는 그 이상의 부분음원을 알고 있다면, 각 부분 음장을 측정하도록 Reference를 위치시킬 수 있다.

다음 예에서 보인바와 같이 어떤 표면의 진동이 중요음원인 것으로 의심되는 경우를 가장하자. 그러면 가속도계, 또는 레이저 속도 변환기 등으로 측정된 진동신호를 단일 Reference로 사용하여 그 진동과 관련이 있는 음장을 그릴 수 있다.

Reference로서 진동신호의 사용은 관련이 없는 암소음을 매우 양호하게 억제하는 장점을 가지고 있으나, 진동 형태가 마디를 갖는 선에서 진동신호를 측정할 가능성이 있으므로 주의해야 한다.

"삭제"용 Reference의 사용

무관한 어떤 암소음을 표준 Reference 변환기에서 필할 수 없는 경우 암소음은 음장의 도해시 STSF에 의해 만들어지는 음장 모델의 일부분이 된다.

이런 상황에서는 단지 암소음만을 측정하는 삭제용 Reference를 추가하여 사용하는 경우, 이 암소음은 모델로부터 매우 효과적으로 제거될 수 있다.

삭제용 Reference를 사용하면 음장 모델로 부터 이 Reference 신호와 관련이 있는 음장의 부분을 없애버리는 효과가 있다.

한개 이상의 삭제용 Reference를 사용하는 경우 일련의 주요 성분을 추출할 수 있으며, 지배적인 주요 성분을 제거할 수 있다. 삭제용 Reference에 의해 관측된 음장의 상호 관련이 없는 부분의 분포들이 효과적으로 모델로부터 제거된다.

삭제용 Reference는 복합 음원에서 측정된 Reference 신호들과 관련이 있는 음장의 부분을 억제하는데도 적용될 수 있다.

이 경우 삭제 Reference와 관련이 있는 음장의 부분은 암소음으로 간주된다. 삭제는 측정하는 동안 수행되는 처리과정으로, 암소음의 제거에 충분한 정도를 얻기 위해서

는 삭제에 관련된 모든 신호(모든 Reference와 주사 변환기 신호)들은 동시에 측정되어야 한다는 것이 중요하다.

알맞은 측정 장비로는 16 채널까지 모든 Cross Spectrum의 측정을 동시에 가능케하는 멀티채널 분석 시스템 Type 3550이 있다.

삭제용 Reference 모우드를 사용하더라도 보통 STSF 계산의 어떤 기능도 방해받지 않으므로, STSF 데이타 베이스는 정확히 같은 형태이고 다만 삭제용 Reference와 관계가 있는 음장만이 모든 데이타로부터 삭제되다는 것이 다른점이다.

삭제 기법의 주요한 응용분야는 차량의 바람에 의해 야기되는 소음 시험시 풍동내에서 STSF를 적용할 때이다. 풍동내에서는 통상 휀 소음 자체가 원치않는 주요 소음원이되기 때문이다.

다른 응용분야로서는 주행 상태에서 타이어/노면 소음의 연구에 적용되고 있다. 이 경우 엔진에 기인한 소음은 엔진실내에서 한개 또는 한조의 삭제용 Reference를 놓는 것으로 충분히 억제될 수 있다.

측 정

삭제용 Reference를 사용하는 2가지 측정 예를 설명하고자 한다. 첫번째 측정에서는 2개의 스피커에 적용하여 얼마나 효과적으로 스프리어스원을 제거할 수 있는가를 보이고, 두번째 측정은 실제 음원의 성분을 억제하기 위한 이 기법의 사용에 대한 효과를 살펴 보겠다.

스피커 측정

두 스피커에 서로 상관이 없는 광대역 소음을 공급하고, 그 전면에서 10×8의 주사위치를 설정하여 측정하였다.

한쪽 스피커 (왼쪽)를 주음원으로 하고 다른쪽을 방해하는 암소음원으로 고려해 보자.

두개의 표준 Reference 마이크로폰은 두 스피커의 서로 다른 분포가 관찰되도록 위치시켰다. 삭제 Reference 마이크로폰인 3번째의 마이크로폰은 암소음 스피커에 가능한 근접되도록 위치시켰다.

이때 다음 3가지 조건으로 측정하였다.

(1) 암소음원 : OFF, 삭제용 Reference : OFF (그림 4와 5)

(2) 암소음원 : ON, 삭제용 Reference : OFF (그림 6과 7)

(3) 암소음원 : ON, 삭제용Reference : ON (그림 8과 9)

3가지 측정 모두 주 소음원은 ON 상태이다.

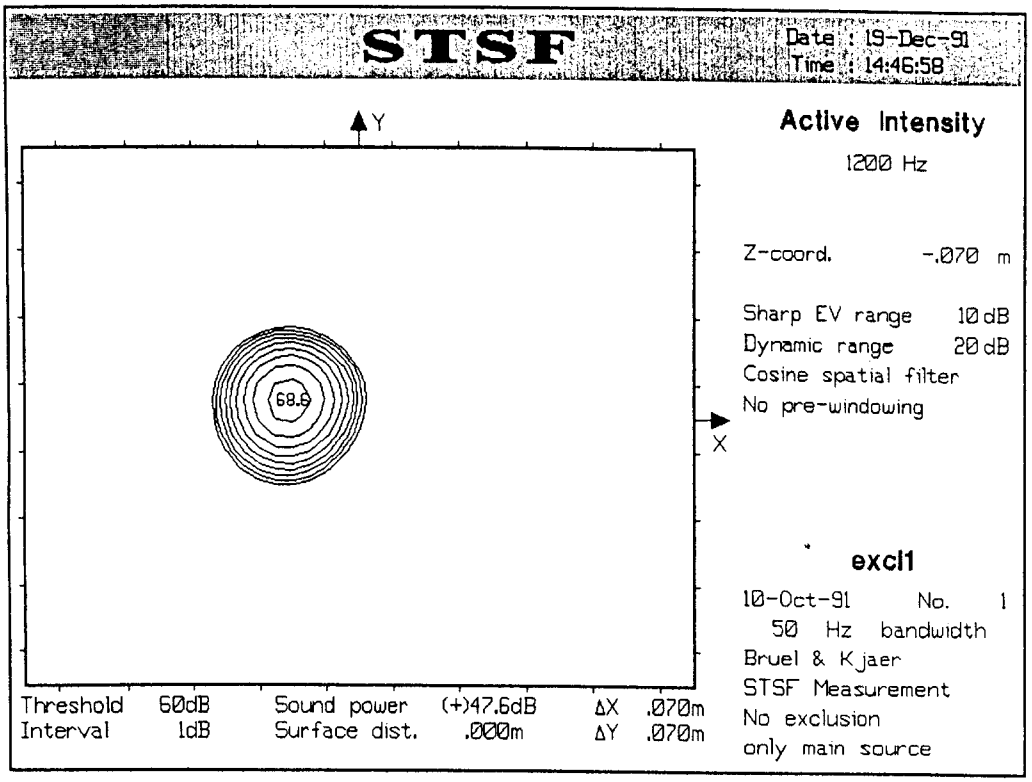


그림 4 암소음과 삭제용 Reference가 없는 경우

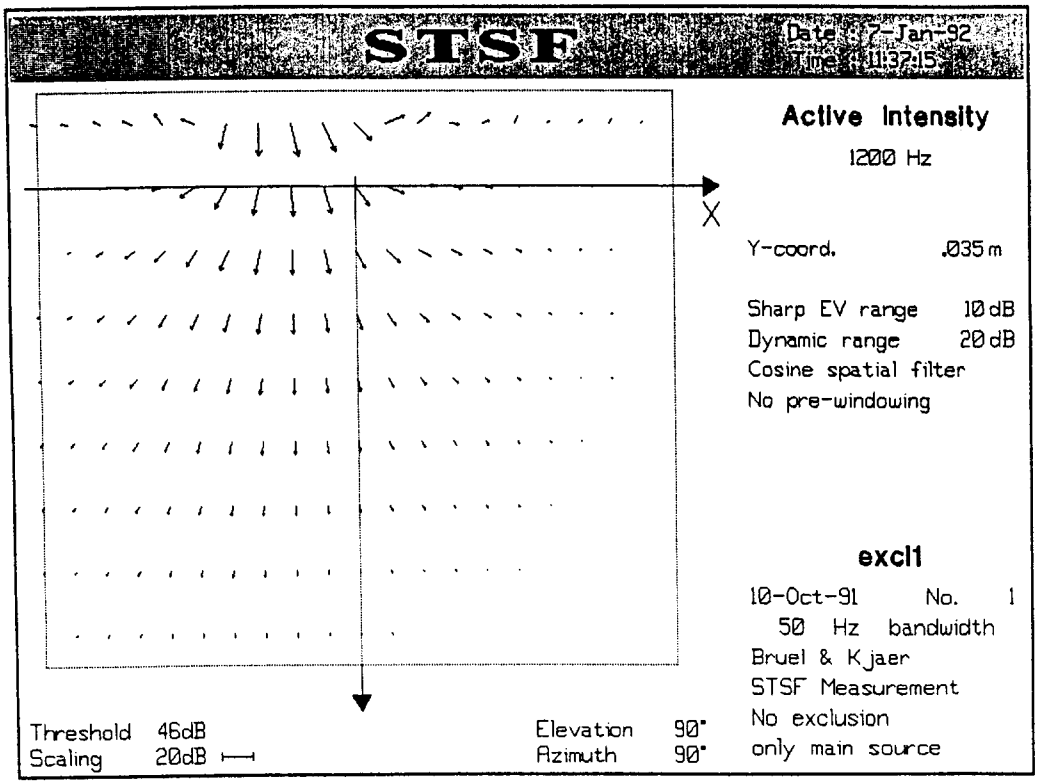


그림 5 암소음과 삭제용 Reference가 없는 경우

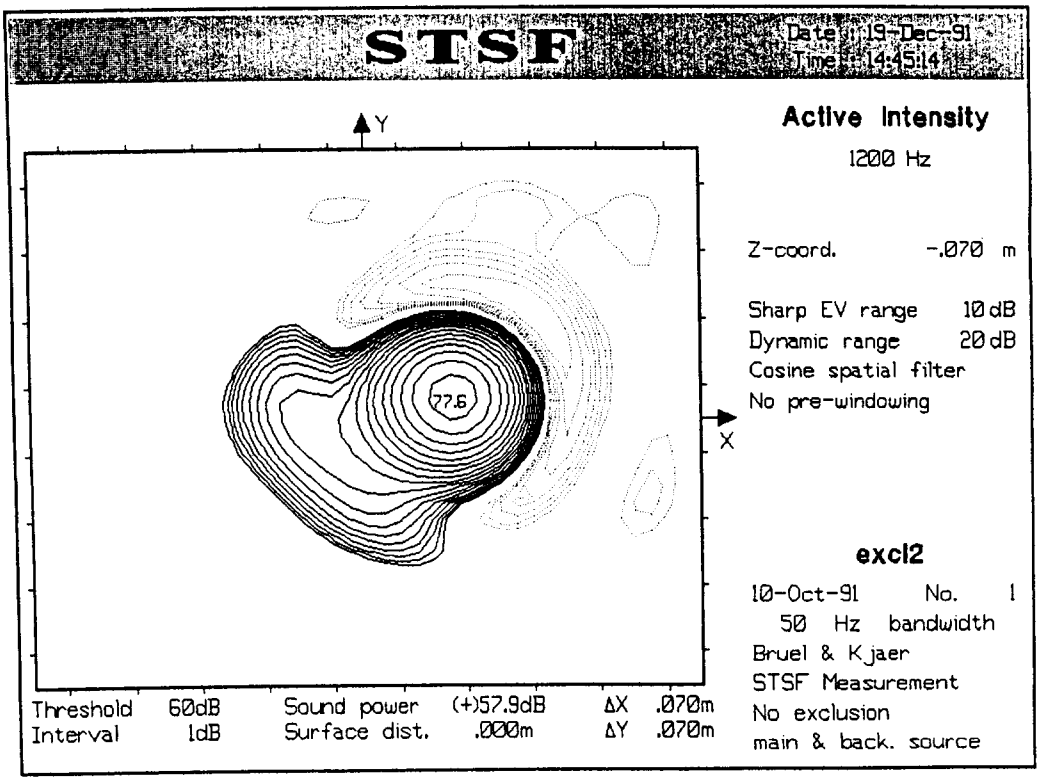


그림 6 암소음은 있으나 삭제용 Reference가 없는 경우

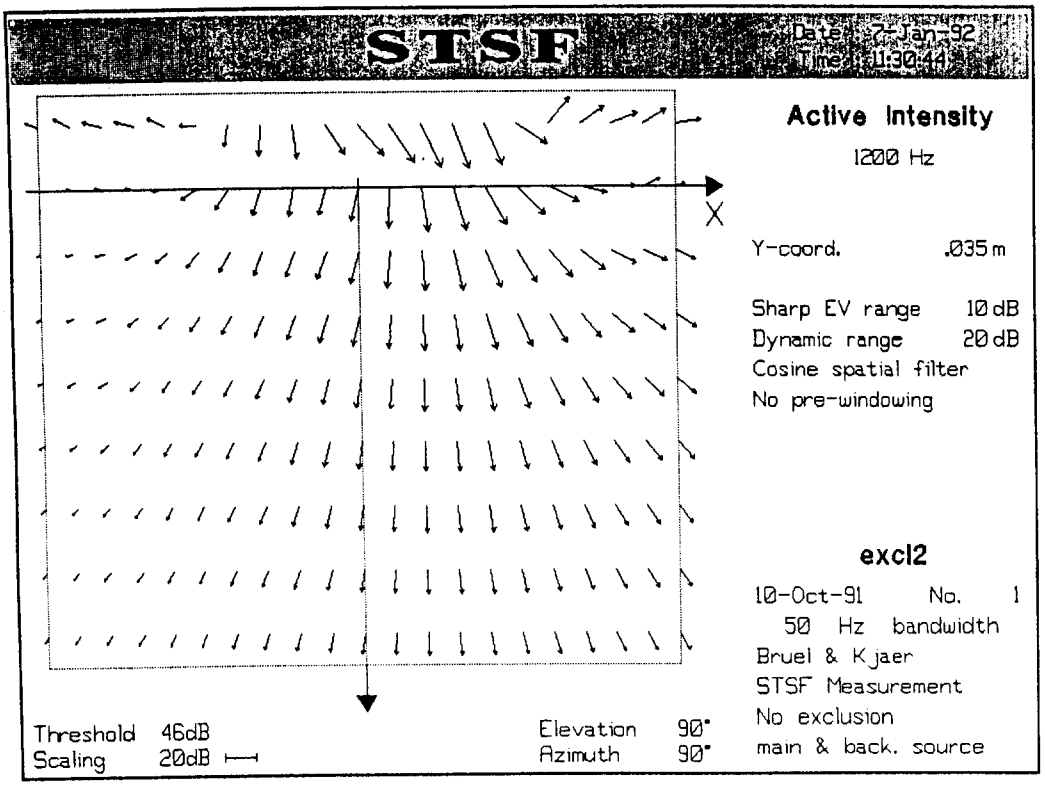


그림 7 암소음은 있으나 삭제용 Reference가 없는 경우

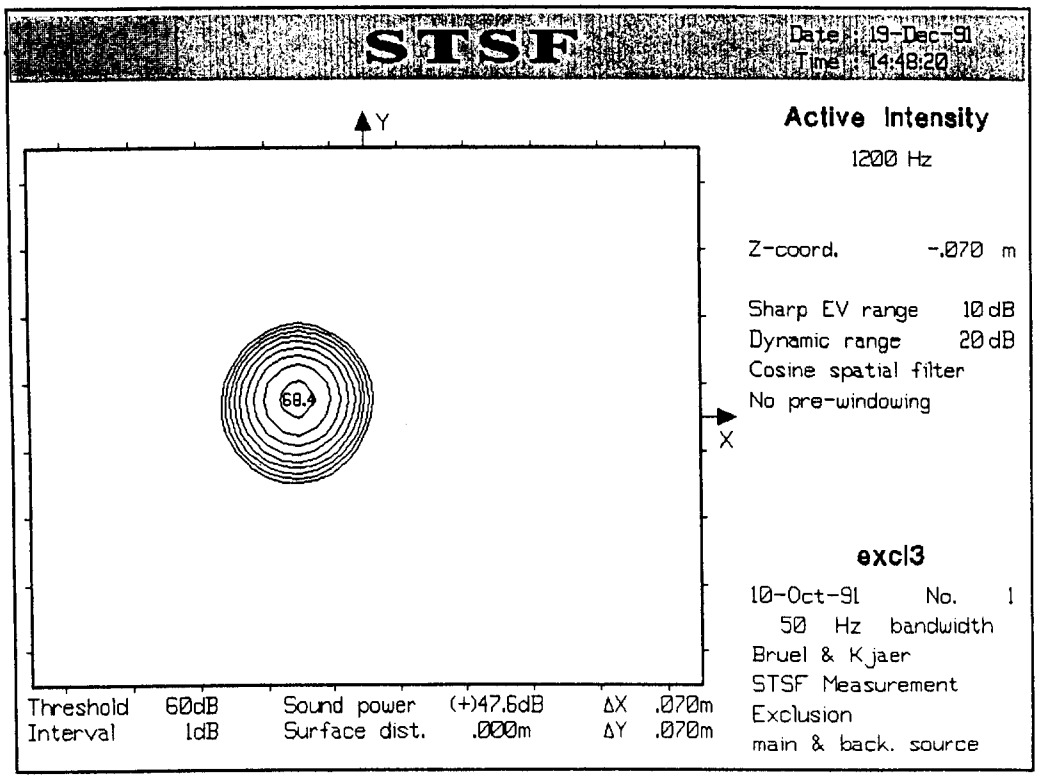


그림 8 암소음과 삭제용 Reference가 있는 경우

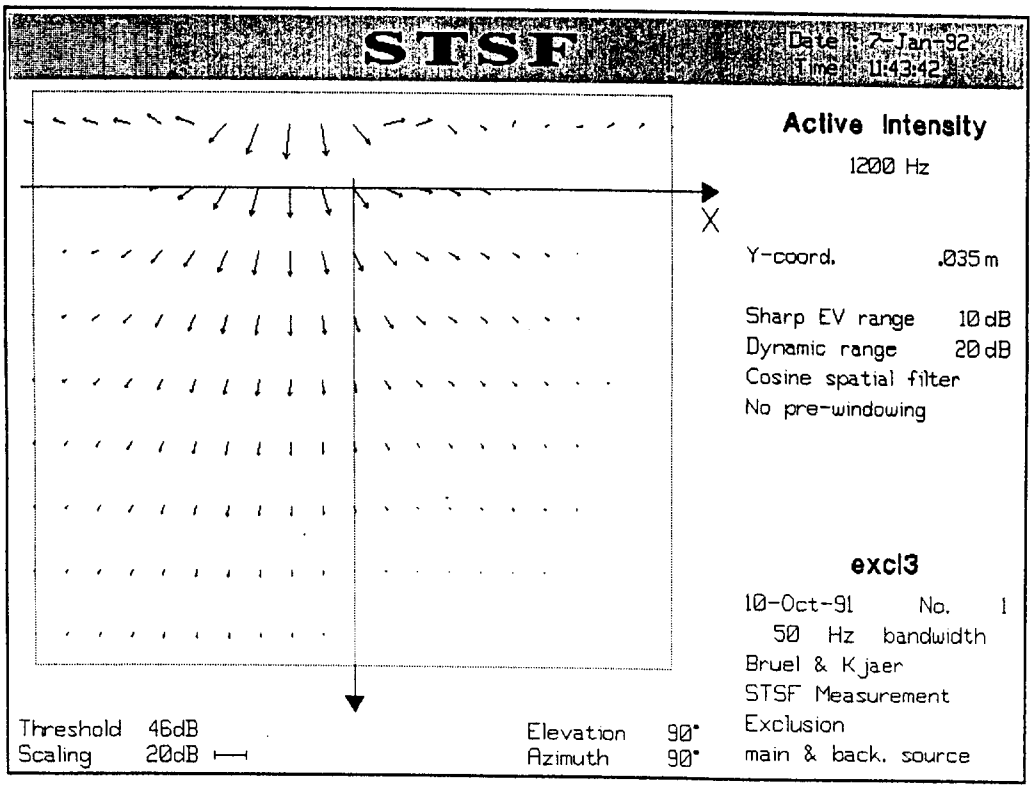


그림 9 암소음과 삭제용 Reference가 있는 경우

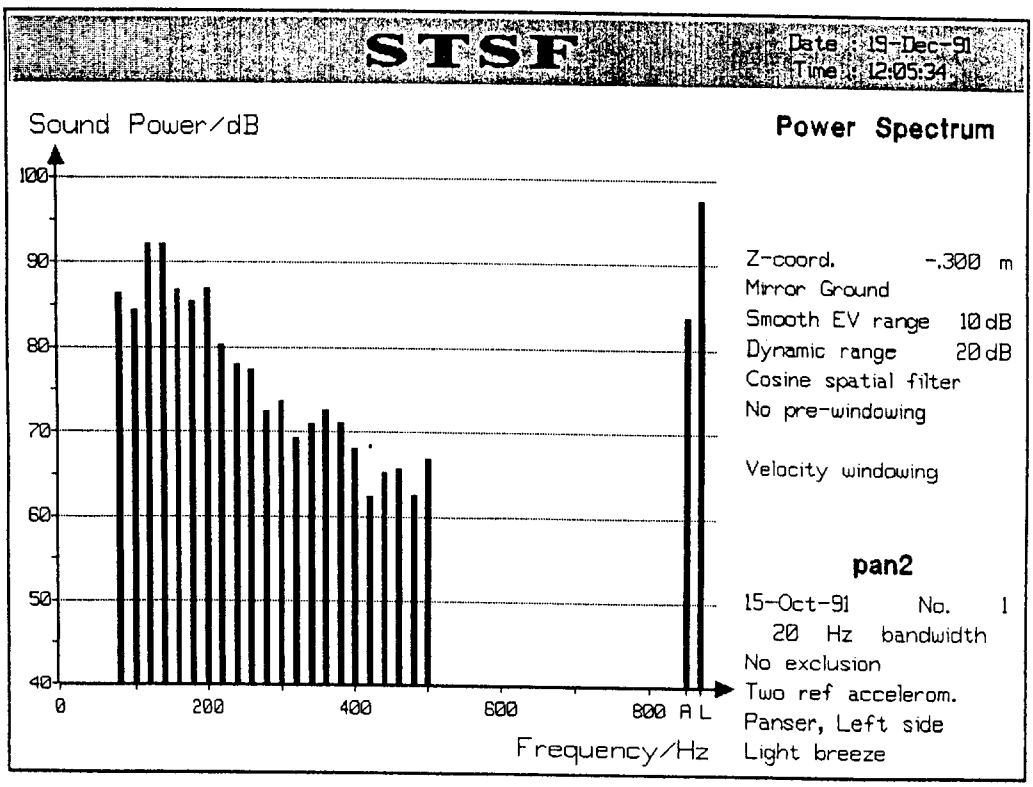


그림 10 삭제용 Reference가 없는 경우의 음향 파워 스펙트럼

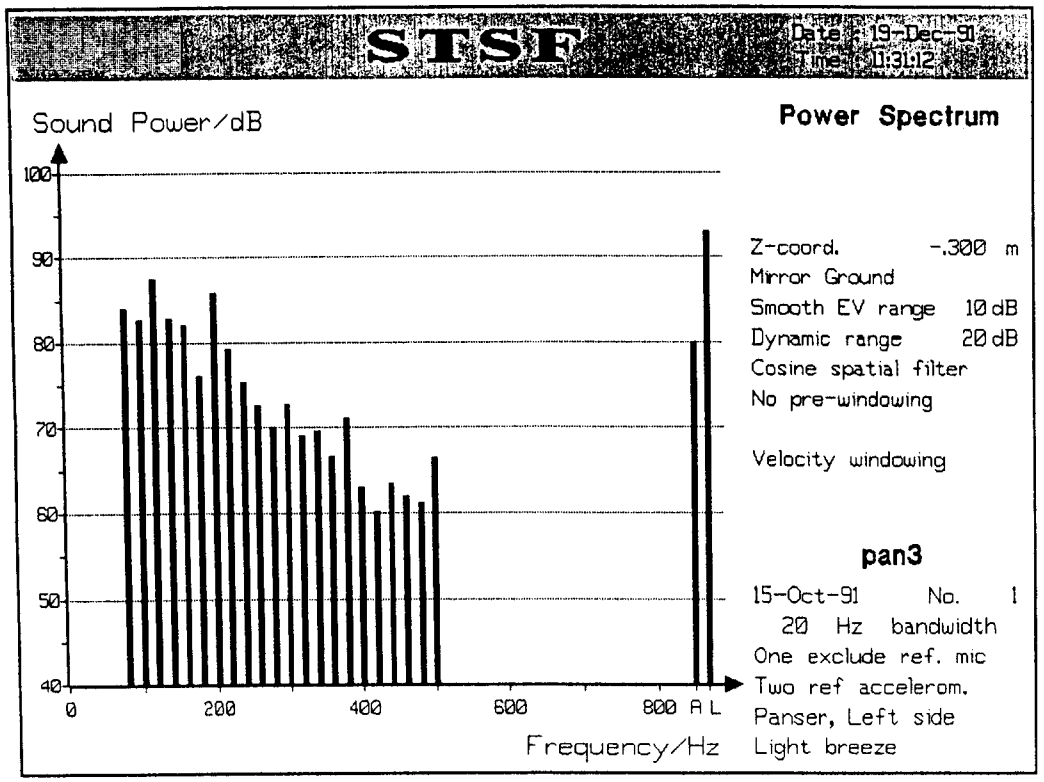


그림 11 배기계에서 삭제용 Reference를 사용한 경우 파워 스펙트럼

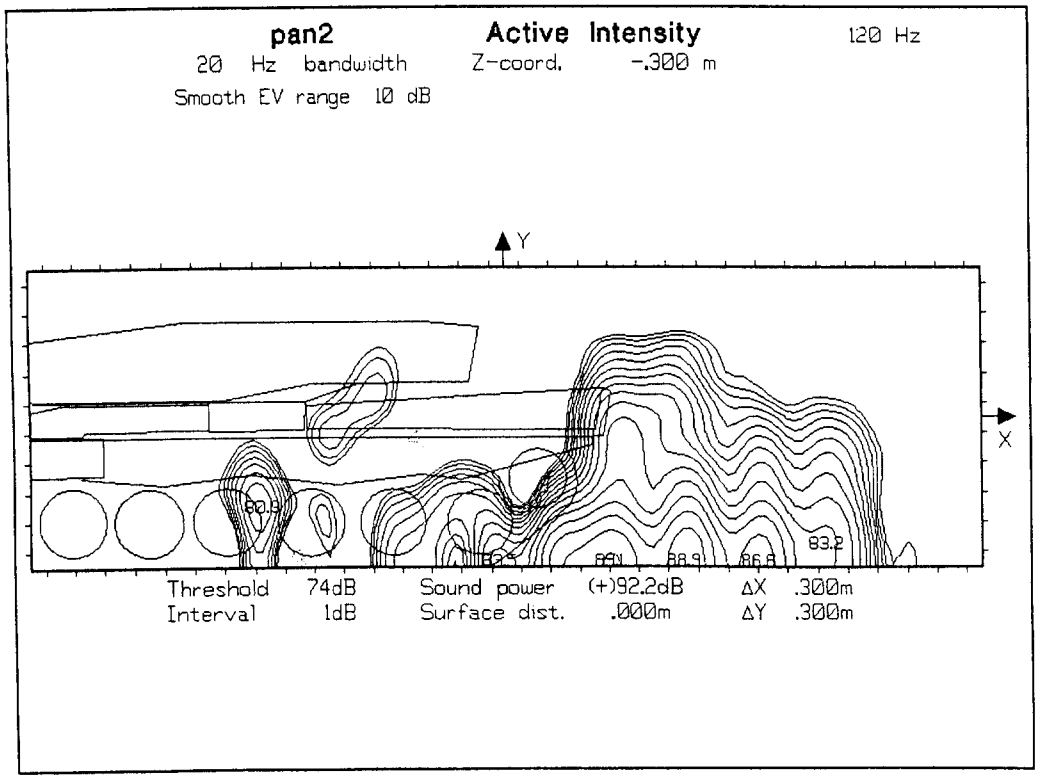


그림 12 삭제용 Reference가 없는 음향 인텐시티(120Hz)

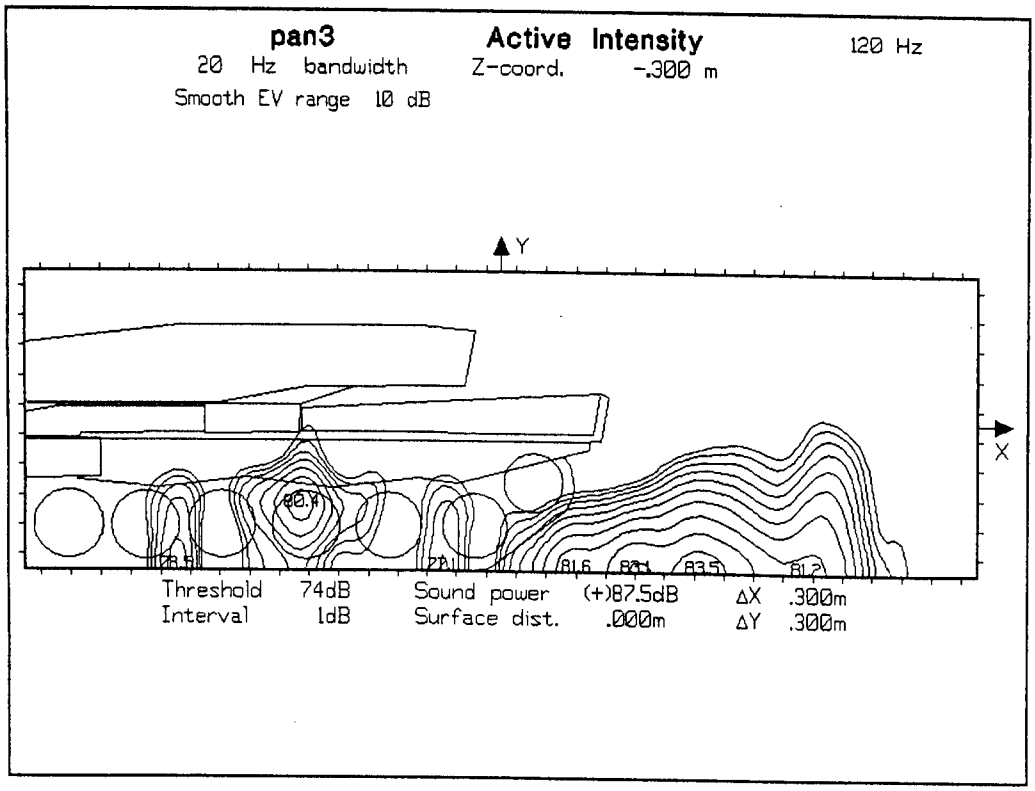


그림 13 배기계에 삭제용 Reference를 사용한 음향 인텐시티(120Hz)

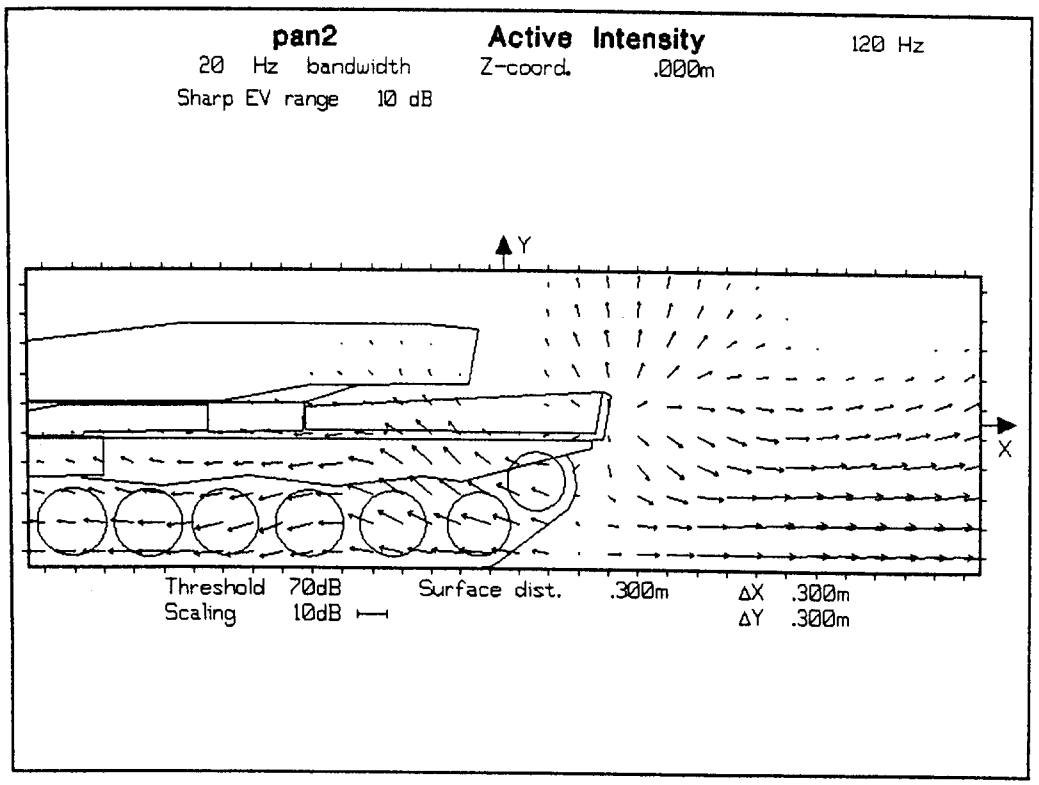


그림 14 삭제용 Reference가 없는 음향 인텐시티(120Hz)

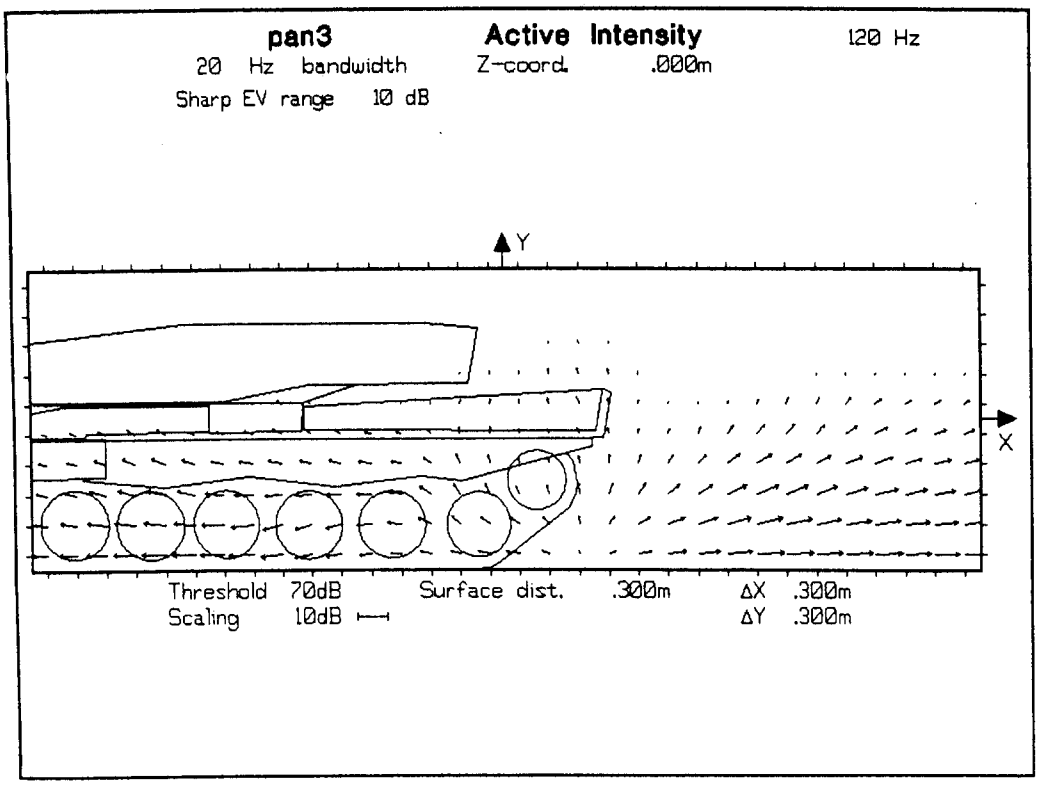


그림 15 배기계에 삭제용 Reference를 사용한 음향 인텐시티(120Hz)

그림 4와 5, 그림 8과 9로부터 삭제용 Reference를 사용한 방법은 주 소음원으로부터 영향을 받지 않는 순수한 음장을 정확하게 재현시킨다는 것을 알 수 있다.

여기서 총 음향 파워란에는 양적으로 나타나있고, Contour 플롯에는 정성적인것이 나타나 있다. 모든 플롯은 1200Hz 중심 주파수에 50Hz 폭으로 나타내었다.

탱크 측정

두번째 측정은 정지된 탱크의 엔진 덮개, 통풍시스템과 배기장치 부위가 포함된 탱크의 왼쪽 뒷 부분을 따라 32×10의 위치에서 실시하였다.

두개의 표준 Reference를 사용하였는데 하나는 심하게 진동하는 벨트 구동휠에, 다른 한개는 뒤 판넬 플레이트에 각각 가속도계를 설치하였다. 첫번째 측정은 삭제용 Reference 없이 실시하였고(그림 10, 12와 13), 두번째 측정은 차량 중심으로 20Hz 폭의 액티브 인텐시티의 플롯을 나타내고 있는데, 그림 12와 13은 탱크의 표면에 매우 근접한 평면상에서 인텐시티 벡터의 수직성분 외곽선 도해를 나타낸 것이다.

삭제용 Reference는 배기 출구가 위치된 뒤쪽 윗부분으로부터 방사를 제거한다는 것이 명백하다. 결과적으로 음향파워는 92.2dB에서 87.5dB로 감소되었다. 주사 평면에서 액티브 인텐시티 벡타의 접선 성분을 그림 14와 15에 나타내었으며 배기 부위에서의 음의 방사가 감소되는 것이 잘 나타나 있다.

결 론

STSF기법의 음장의 Cross 스펙트럼에 의한 표현을 만들기 위해 효과적인 주요 성분 측정 기법을 이용하고 있다.

표준 Reference와 삭제용 Reference가 전체 음장에서 상대적으로 무관한 여러 부분을 각각 포함하거나 제거하는데 사용된다. 이 기법 뒷쪽 배기 장치 출구에 근접하여 위치시킨 한개의 삭제용 마이크로폰을 설치하여 실시하였다. (그림 11, 13과 15)

배기 장치 Reference와 일치하는 음장의 삭제 유무에 따른 음원을 향하여 0.3m 이동시킨 주사면을 통한 음향 파워 스펙트럼을 그림 10과 11에 나타내었다.

여기서 삭제용 Reference와 일치하는 음장 성분을 제외 함으로서 80-500Hz 주파수 범위에서 약 4 dB 정도의 전체 감소가 얻어지는 것으로 나타나고 있다.

나머지 4개의 그림은 120Hz를

은 또한 특정 Reference들에 의해 얻어진 표현을 평가하기 위한 확인 과정도 포함하고 있다.

이상의 두 가지 예에서 관련이 없는 암소음과 음원과 독립된 부분을 억제하기 위한 삭제용 Reference에 대하여 언급하였다.

REFERENCES

(1) "STSF-a unique technique for scan based near-field acoustic holography without restrictions on coherence", J. Hald, Technical Review No. 1, 1989, B & K publication.

(2) "Development of STSF with emphasis on the influence of bandwidth ; Part 1, Background & theory", J. Hald.

(3) "Part 11, Instrumentation and computer simulation", K.B. Ginn & J. Hald, Noise Con 88, Proceedings 529(1988).

(4) "Source location using accelerometers as reference transducers for the STSF technique", K.B. Ginn & J. Hald, ICA 89 (1989).